

101.525.753

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004年3月4日 (04.03.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/018743 A1

(51) 国際特許分類: C30B 29/10, H01L 29/12, H01S 5/323

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/010575

(22) 国際出願日: 2003年8月21日 (21.08.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願2002-244895 2002年8月26日 (26.08.2002) JP(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 独立行政  
法人 物質・材料研究機構 (NATIONAL INSTITUTE  
FOR MATERIALS SCIENCE) [JP/JP]; 〒305-0047 茨  
城県つくば市千現1-2-1 Ibaraki (JP). 京セラ株式社 (KYOCERA CORPORATION) [JP/JP]; 〒612-8501  
京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6 Kyoto (JP).

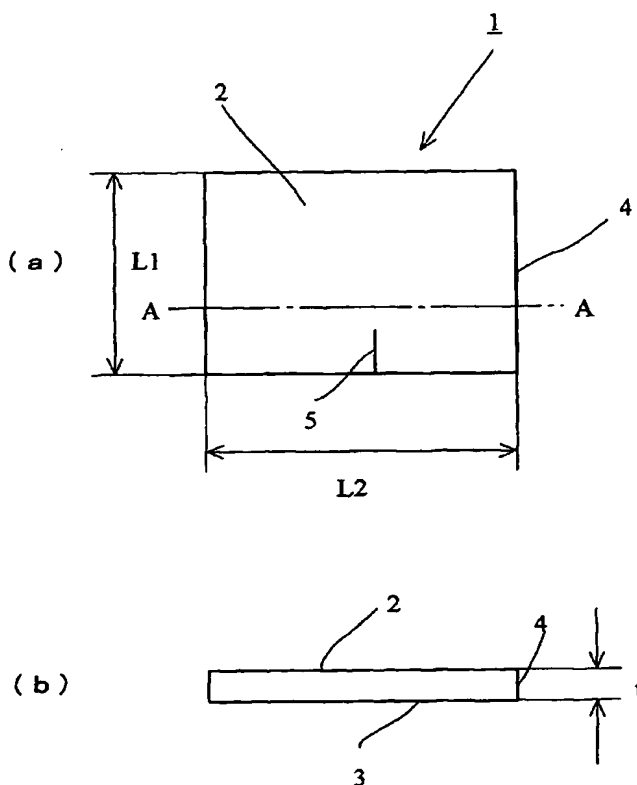
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 大谷 茂樹  
(OTANI, Shigeki) [JP/JP]; 〒305-0047 茨城県つくば  
市千現1-2-1 独立行政法人 物質・材料研究機  
構内 Ibaraki (JP). 木下 博之 (KINOSHITA, Hiroyuki)  
[JP/JP]; 〒612-8501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿  
町6 京セラ株式会社内 Kyoto (JP). 松波 弘之 (MAT-  
SUNAMI, Hiroyuki) [JP/JP]; 〒614-8351 京都府八幡市  
西山足立1-9 Kyoto (JP). 須田 淳 (SUDA, Jun) [JP/JP];  
〒520-0852 滋賀県大津市田辺町3-1 9 Shiga (JP).  
天野 浩 (AMANO, Hiroshi) [JP/JP]; 〒465-0011 愛知県  
名古屋市名東区山の手2-1 0 4-5 0 8 Aichi (JP).  
赤崎 勇 (AKASAKI, Isamu) [JP/JP]; 〒451-0061 愛知

[続葉有]

(54) Title: DIBORIDE SINGLE CRYSTAL SUBSTRATE, SEMICONDUCTOR DEVICE USING THIS AND ITS MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 二硼化物単結晶基板及びそれを用いた半導体装置並びにその製造方法



(57) Abstract: A single crystal substrate of a diboride having conductivity and the same cleavage surface as a nitride compound semiconductor, a semiconductor laser diode using the diboride single crystal substrate, a semiconductor device, and their manufacturing methods. The single crystal substrate (1) of diboride  $XB_2$  (where X is Zr or Ti) is characterized in that the surface orientation is the (0001) plane (2), and the substrate thickness is less than 0.1mm. The substrate is easy to cleave and dice along the (10-10) plane (4). By forming a nitride compound semiconductor laser diode on the substrate, a vertical structure element is realized. When the element is diced parallel to the (10-10) plane, the resonance plane of the semiconductor laser diode with reduced resonance loss can be formed. Thus, a manufacturing method without kerf loss is realized.

(57) 要約: 窒化物系化合物半導体の劈開面と同じ劈開面を有し、かつ、導電性を有する二硼化物単結晶基板と、それを用いた半導体レーザダイオード及び半導体装置、並びにそれらの製造方法であり、二硼化物 $XB_2$  (ここで、Xは、ZrまたはTi)の単結晶基板1であって、面方位が(0001)面2であり、かつ基板の厚さを0.1mm以下としたことを特徴とする。

(10-10)面4に沿った劈開、分割を容易に行うことができる。この基板を用いて窒化物系化合物による半導体レーザダイオードなどを形成すれば縦構造素子が実現できる。素子を分割する際に(10-10)面に平行に分割することで、損失の少ない半導体レーザダイオードの共振面などを形成することができる。切りしろによるロスが

無い製造方法を実現できる。

BEST AVAILABLE COPY

WO 2004/018743 A1



県名古屋市西区浄心 1-1-3 8-8 0 5 Aichi (JP).  
上山 智 (KAMIYAMA, Satoshi) [JP/JP]; 〒468-0004 愛  
知県名古屋市天白区梅が丘 4-2 1 6-2 0 3 Aichi  
(JP).

(74) 代理人: 平山 一幸 (HIRAYAMA, Kazuyuki); 〒160-  
0022 東京都新宿区新宿 2-3-1 0 新宿御苑ビル  
6 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): CN, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

二硼化物単結晶基板及びそれを用いた半導体装置並びにその製造方法

技術分野

本発明は、窒化物系化合物半導体に必要な基板と、それを用いた半導体レーザダイオード及び半導体装置並びにそれらの製造方法に関するものである。

背景技術

半導体レーザダイオード（以下、LDと呼ぶ）や、発光ダイオード（以下、LEDと呼ぶ）素子は、光ディスク装置などの様々な機器に應用されている。近年、これらの光ディスク装置の記憶容量を増大させるために波長の短い青～紫外域の発光ができる窒化物系化合物半導体材料を用いたLEDやLDが開発されている。窒化物系化合物半導体は、禁制帯幅が大きいので降伏電圧が高い。また、移動度が大きいので、高周波特性に優れることから各種のトランジスタの開発が行われている。

従来の窒化物系化合物半導体を用いたLDや高周波用トランジスタは、窒化物系化合物半導体の、例えば窒化ガリウム（GaN）の品質の良い基板が得られていないので、サファイア単結晶基板上に、窒化物系化合物半導体装置を形成していた。

窒化物系化合物半導体を用いたLDの製造方法の第1の従来例として、特開平7-297495号公報による技術がある。図19は、この第1の従来例のLDの構成を示す断面図である。このLD40は、サファイア単結晶基板41の（11-20）面上に、LDの動作層として、AlNバッファ層42， $n^+$ GaN層43， $n\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層44，GaN層45， $p\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層46からなる多重層が順次積層されている。最上層の $p\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層46上に $\text{SiO}_2$ 膜47が堆積され、電極用の窓が開けられて、p層46の電極48Aが形成されている。n層44の電極48Bは、 $n^+$ GaN層43上に形成されている。LD40のファブリペロー共振器の共振面は、レーザ発光の光路（紙面

の垂直方向)に垂直な対向端面に構成されている。

第1の従来例には、共振器となる対向端面は、単結晶サファイア基板41を $\langle 0001 \rangle$ 軸(c軸)に沿って劈開し、分割することによって得ることが開示されている。これにより、対向端面を精密な鏡面とすることにより、窒化物系化合物半導体によるLD40の発振効率を向上させることが示されている。

一方、第2の従来例として、二硼化ジルコニウム( $ZrB_2$ )基板が、窒化物系化合物半導体の基板として有望であることが報告されている(J. Suda、H. Matsunami、Journal of Crystal Growth、Vol. 237-239、pp. 210-213、2002年)。 $ZrB_2$ 基板は、高周波加熱の浮遊帯溶解法(FZ法)により単結晶が得られ、窒化物系化合物半導体と良好に格子整合し、かつ、優れた導電性を有している。また、窒化物系化合物半導体は、 $ZrB_2$ 基板上に、エピタキシャル成長させることができる。

第1の従来例のLDの製造方法において、サファイア基板41をc軸に沿って劈開した場合、サファイア基板41は、その劈開面が(10-12)面とされているが、この結晶面は、窒化物系化合物半導体の劈開面である(10-10)面とは異なるので、安定した劈開面が得られないという課題がある。そのために、窒化物系化合物半導体のファブリペロー共振器となる対向端面の面精度、平行度を高くすることができないので、歩留まり良く発振効率の高いLDを得ることができないという課題がある。

III-V族化合物系半導体を用いたLDは、動作層の表面と基板裏面とにオーミック電極を設け、基板の表面側から裏面へ電流を流す、いわゆる縦構造素子である。しかし、サファイア単結晶基板41は絶縁物であるために、サファイア基板41の裏面をオーミック電極とすることはできないので、縦型構造素子は実現できない。従って、LD40において、多重層の下部である $n^+$ 層43に、電極48Bを、素子上面部に形成する必要がある。この $n^+$ 層43を素子上面に露出させるためには、例えばLDの多重層を結晶成長させるときに、 $n^+$ 層43の成長が済んだら結晶成長を中止して、電極となる部分を結晶成長されない $SiO_2$ 47などの絶縁物で被覆し、さらに多重層を成長させるという、いわゆる選択成

長を行う必要がある。または、多重層を形成した後に、電極となる $n^+$ 領域をエッチングにより素子表面へ露出させる工程などにより行う。これにより、工程が増えるために、歩留まりが低下しコストが増大するという課題がある。

また、サファイア単結晶基板41は、熱伝導率が小さいので、サファイア単結晶基板41を用いた窒化物系化合物半導体のLD40や各種の半導体装置の動作時の温度が上昇し易い。そのために、LD40の寿命が短くなったり、また、高周波用トランジスタの出力と効率が上がらないといった、窒化物系化合物半導体装置の有する本来の性能を十分に発揮できないという課題がある。

また、第2の従来例において、 $ZrB_2$ 結晶基板を例えばLDの基板として使用した場合に、LDの共振面を形成するときに $ZrB_2$ 基板も同時に劈開することが必要である。しかし、 $ZrB_2$ 基板の明瞭な劈開面は確認されていないという課題がある。

### 発明の開示

本発明は、上記課題に鑑み、窒化物系化合物半導体の劈開面と同じ劈開面を有し、かつ、導電性を有する基板と、それを用いた半導体レーザダイオード等の半導体装置、並びにそれらの製造方法を提供することを目的とする。

上記目的を達成するため、本発明の基板は、二硼化物 $XB_2$ （ここで、Xは、 $Zr$ または $Ti$ ）の単結晶基板であって、面方位が $(0001)$ 面であり、かつ基板の厚さを $0.1\text{mm}$ 以下としたことを特徴とする。上記二硼化物単結晶基板は、 $(10\bar{1}0)$ 面、または、 $(11\bar{2}0)$ 面を示すオリエンテーションフラットを有していればよい。

本発明の半導体レーザダイオードは、二硼化物 $XB_2$ （ここで、Xは、 $Zr$ または $Ti$ ）単結晶の $(0001)$ 面を方位とする基板上に、半導体レーザダイオードが形成されたことを特徴とする。

前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板上に形成された半導体レーザダイオードの動作層は多重層からなり、二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板は、 $(10\bar{1}0)$ 面に沿った切断面を有し、多重層における半導体レーザ光の共振器をなす2つの対向端面が二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板の $(10\bar{1}0)$ 面に平行な劈開面によって形成

されていけばよい。二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板の厚さは、 $0.1\text{ mm}$ 以下であればよい。また、前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板は、好ましくは、 $ZrB_2$ 単結晶基板であり、半導体レーザダイオードの動作層となる多重層は、窒化物系化合物半導体( $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ )から構成される。

この構成によれば、半導体レーザダイオードを形成する前若しくは形成した後に $XB_2$ 基板を $0.1\text{ mm}$ 以下の厚さにしておけば、 $XB_2$ 基板並びに半導体レーザダイオードを、 $XB_2$ 並びに半導体レーザダイオードを構成する窒化物系化合物半導体の $(10-10)$ 面に沿って良好な直線性を以て容易に分割することができ、半導体レーザダイオードの共振器を構成する対向端面を容易に形成することができる。また、素子分割の観点からも、切断しろのない素子の分割方法を実現することができる。

本発明の半導体装置は、二硼化物単結晶 $XB_2$ （ここで、 $X$ は、 $Zr$ または $Ti$ ）の $(0001)$ 面を方位とする基板上に形成された半導体装置であって、二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板は、 $(10-10)$ 面に沿ってダイヤモンドペンなどによりスクライブして切断された2つの切断面を有し、半導体装置の素子の側面に該当する面のうち少なくとも一面が二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板の $(10-10)$ 面に平行な面を有することを特徴とする。

前記半導体装置は、半導体レーザダイオード、発光ダイオード、フォトディテクタ、ヘテロ接合バイポーラトランジスタ、電界効果トランジスタ、集積回路のいずれかであってよい。二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板の厚さは、好ましくは、 $0.1\text{ mm}$ 以下である。また、二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板は、 $ZrB_2$ 単結晶基板であり、半導体装置は、窒化物系化合物半導体( $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ )からなるのが好ましい。

この構成によれば、半導体装置を形成する前若しくは形成した後に、 $XB_2$ 基板を $0.1\text{ mm}$ 以下の厚さにしておけば、 $XB_2$ 基板並びに半導体装置を $XB_2$ 並びに半導体装置を構成する窒化物の $(10-10)$ 面に沿って良好な直線性を保って容易に分割することができる。また、この構成によれば、 $ZrB_2$ を窒化物系化合物半導体の基板として用い、基板側に電極を形成する縦型構造の窒化物系化合物半導体素子を形成することができる。

さらに、本発明による半導体レーザダイオードの製造方法は、二硼化物単結晶 $XB_2$ （ここで、 $X$ は、 $Zr$ または $Ti$ ）の（ $0001$ ）面を方位とする基板上に半導体レーザダイオードの動作層を形成する工程と、二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板及び半導体レーザダイオードの動作層を二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板の（ $10-10$ ）面に沿って劈開して多数個に分割する工程からなることを特徴とする。

前記二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板及び半導体レーザダイオードの動作層が $XB_2$ 単結晶基板の（ $10-10$ ）面に沿って劈開して多数個に分割される工程の前に、二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板を、少なくとも $0.1\text{ mm}$ 以下の厚さにする工程を含んでもよい。二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板の厚さは、好ましくは、 $0.1\text{ mm}$ 以下とされる。前記二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板は、好ましくは、 $ZrB_2$ 単結晶基板であり、半導体レーザダイオードの動作層となる多重層は、好ましくは、窒化物系化合物半導体（ $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ ）からなる。

この構成によれば、半導体レーザダイオードを形成する前若しくは形成した後に $XB_2$ 単結晶基板を $0.1\text{ mm}$ 以下の厚さにしておけば、 $XB_2$ 単結晶基板並びに半導体レーザダイオードを、 $XB_2$ 単結晶基板並びに半導体レーザダイオードを構成する窒化物の（ $10-10$ ）面に沿って良好な直線性を保って容易に分割することができ、半導体レーザダイオードの共振器を構成する対向端面を容易に形成することができる。また、素子分割の観点からも、切断しろのない素子の分割方法を実現することができる。

また、本発明の半導体装置の製造方法は、二硼化物単結晶 $XB_2$ （ここで、 $X$ は、 $Zr$ または $Ti$ ）の（ $0001$ ）面を方位とする基板上に半導体素子を形成する工程と、二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板上の半導体素子を分離する際に、二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板の（ $10-10$ ）面に平行に素子を切断する工程からなることを特徴とする。前記素子を切断する工程は、好ましくは、劈開によって行う。また、二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板上の半導体素子を分離する際に、好ましくは $XB_2$ 単結晶基板の（ $10-10$ ）面に平行に素子を切断する工程の前に、 $XB_2$ 単結晶基板を少なくとも $0.1\text{ mm}$ 以下の厚さにする工程を含む。前記二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板の厚さは、好ましくは、 $0.1\text{ mm}$ 以下となっている。また、

二硼化物単結晶 $\text{XB}_2$ 基板は、 $\text{ZrB}_2$ 単結晶基板であり、半導体素子は、窒化物系化合物半導体( $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 、ここで、 $x+y+z=1$ )からなっていれば好ましい。

この構成によれば、半導体装置を形成する前若しくは形成した後に $\text{XB}_2$ 単結晶基板を $0.1\text{mm}$ 以下の厚さにしておけば、 $\text{XB}_2$ 単結晶基板並びに半導体装置を、 $\text{XB}_2$ 単結晶基板並びに半導体装置を構成する窒化物の $(10-10)$ 面に沿って良好な直線性を保って容易に分割することができる。

また、 $\text{ZrB}_2$ を窒化物系化合物半導体の基板として用いれば、基板側に電極を形成する縦型構造の窒化物系化合物半導体素子を形成することができる。

#### 図面の簡単な説明

本発明は、以下の詳細な発明及び本発明の幾つかの実施の形態を示す添付図面に基づいて、より良く理解されるものとなろう。なお、添付図面に示す種々の実施例は本発明を特定または限定することを意図するものではなく、単に本発明の説明及び理解を容易とするためだけのものである。

図1は、本発明に係る第1の実施の形態による $\text{XB}_2$ 単結晶基板の構成を示す概略図である。

図2は、 $\text{ZrB}_2$ 単結晶における主要な面の相対関係を示す図である。

図3は、 $\text{ZrB}_2$ 単結晶基板の $(0001)$ 面を有する基板における $(10-11)$ 面の相対位置を示した斜視図である。

図4は、本発明の $\text{ZrB}_2$ 単結晶基板の実施例を示す図である。

図5は、厚さ $0.06\text{mm}$ の $(0001)$ 面 $\text{ZrB}_2$ 単結晶基板を $(10-10)$ 面に平行に切断した切断部を基板の斜め上方から観察した拡大写真を示す図である。

図6は、 $\text{ZrB}_2$ 単結晶基板の厚さを $0.1\text{mm}$ 以下として良好な切断面が得られたときの切断面のX線による背面ラウエ写真を示す図である。

図7は、厚さ $0.06\text{mm}$ の $(0001)$ 面 $\text{ZrB}_2$ 単結晶基板を $(10-10)$ 面に沿って、切断機により切断した切断面の拡大写真を示す図である。

図8は、厚さ $0.33\text{mm}$ の $(0001)$ 面 $\text{ZrB}_2$ 単結晶基板を、 $(10-$



10) 面に沿って破断した比較例の破断部を基板斜め上方から撮影した写真を示す図である。

図9は、厚さ0.33mmの(0001)面ZrB<sub>2</sub>単結晶基板裏面に、破断しようとする箇所の始点から終点まで完全にスクライブ加工を行い破断した比較例の破断部を基板斜め上方から撮影した写真を示す図である。

図10は、本発明に係る第2の実施の形態によるLDの構造を示す斜視図である。

図11は、本発明のLD構造の光路方向の断面を示す断面図である。

図12は、本発明に係る第3の実施の形態による半導体レーザダイオードの製造方法を示す図である。

図13は、本発明に係る第4の実施の形態による半導体装置の構成を示す概略断面図である。

図14は、本発明に係る第4の実施の形態によるHBTの構成を示す断面図である。

図15は、本発明に係る第4の実施の形態によるFETの構成を示す断面図である。

図16は、本発明に係る第4の実施の形態によるダイオードの構成を示す断面図である。

図17は、本発明に係る第5の実施の形態による半導体装置の製造方法を示す図である。

図18は、本発明に係る第5の実施の形態によるLEDの製造方法を示す図である。

図19は、従来のサファイア基板を用いた窒化物系化合物半導体によるLDの一例を示す斜視図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

初めに本発明の基板の第1の実施の形態を示す。

図1は本発明に係る第1の実施の形態による基板の構成を示す図である。図1

(a) は二硼化物  $XB_2$  単結晶基板の平面図であり、図 1 (b) はその A-A 断面図である。図 1 において、単結晶基板 1 は、二硼化物  $XB_2$  (X は、Zr (ジルコニウム) または Ti (チタン) のいずれか一つであり、B は硼素である。) からなっている。

ここで単結晶基板 1 として、X が Zr である  $ZrB_2$  を例にとって説明する。この  $ZrB_2$  単結晶基板 1 は、(0001) 面 2 を主表面とし、短辺が  $L_1$  で、長辺が  $L_2$  の寸法を有している。短辺の側面 4 は、(10-10) 面、または、(11-20) 面であり、オリエンテーションフラットとなっている。

図 1 (b) は図 1 (a) の A-A 断面である。基板の裏面は 3 で示している。基板 1 の厚さ  $t$  は、後述するように劈開し易いように、厚さが 0.1 mm 以下が好適である。

次に、本発明の  $ZrB_2$  単結晶基板の劈開について説明する。図 1 に示すように、厚さが 0.06 mm の  $ZrB_2$  単結晶基板 1 の表面 2 もしくは裏面 3 において、この結晶の (10-10) 面 4 に平行に、表面 2 もしくは裏面 3 をダイヤモンドペンを用いてスクライブし、スクライブ線 5 が劈開の基線となるように (0001) 面 2 に応力をかけて切断する。

次に、本発明の基板の作用効果を説明する。

多数の  $ZrB_2$  単結晶基板を作製し、機械的もしくは熱的な衝撃を与えて劈開した切断面について綿密な観察を行った結果、(0001) 面 2 を主表面とする  $ZrB_2$  単結晶基板 1 の厚さを 0.1 mm 以下にすれば、切断面が (10-10) 面 4 に平行で、かつ、(0001) 面 2 において (10-10) 面 4 と (10-11) 面が交わる交線に沿って直線的に割れることが判明した。これにより、従来劈開が困難であった (0001) 面 2 を有する  $ZrB_2$  単結晶基板 1 において、おおよそ 0.1 mm 以下の厚さにした  $ZrB_2$  単結晶基板は、(0001) 面 2 を主表面とする  $ZrB_2$  単結晶基板 1 の本来の劈開面である (10-11) 面での切断面は得られず、(10-10) 面 4 で良好な切断面が得られる。

上述した  $ZrB_2$  単結晶基板 1 の切断面が、本来の劈開面である (10-11) 面とならないで (10-10) 面 4 となる理由を説明する。

始めに、 $ZrB_2$  単結晶基板 1 の (10-11) 面と、(10-10) 面 4 の

位置関係について説明する。図2は、 $ZrB_2$  結晶における主要な面の相対関係を示す図である。 $ZrB_2$  は、六方晶系の結晶構造を有している。六角柱の底面上に、 $a_1$  軸、 $a_2$  軸、 $a_3$  軸があり、この底面に垂直な方向が  $c$  軸である。図示するように、六角柱の底面が  $(0001)$  面2である。この底面の六角形の一辺が格子定数  $a$  である。また、図に示すように  $(0001)$  面2に対して、 $(10-10)$  面4は、 $90^\circ$  の角をなしている。また、 $(0001)$  面2と  $(10-11)$  面7のなす角度は、 $52.15^\circ$  である。そして、 $(10-11)$  面7と  $(10-10)$  面4は、 $(0001)$  面2において交線8で交わっている。

図3は、 $ZrB_2$  単結晶基板の  $(0001)$  面基板における  $(10-11)$  面の相対位置を示した斜視図である。図示するように、本来の劈開面である  $(10-11)$  面7と、 $(0001)$  面2のなす角度は、 $52.15^\circ$  で、垂直ではない。従って、 $(10-11)$  面7と、 $ZrB_2$  単結晶基板1の表面2と裏面3との交線は、図中に示したLというずれが生じる。

$ZrB_2$  単結晶基板1の劈開面が、本来の劈開面である  $(10-11)$  面7とらずに  $(10-10)$  面4となる理由は、まず第1に本来の劈開面である  $(10-11)$  面7が  $(0001)$  面2に垂直ではないために、スクライプの後に加えられる応力が  $(10-11)$  面7には加わりにくいことによる。

次に、スクライプの後に加えられる応力に対する  $(10-11)$  面7の降伏点が、 $(0001)$  主表面2に垂直な  $(10-10)$  面4に対する応力の降伏点よりも高いので、 $(10-10)$  面4に沿って切断され易いものと考えられる。すなわち、基板の厚さを薄くすると、切断し易い  $(10-10)$  面2と、切断されにくい  $(10-11)$  面7との応力に対する降伏点の差が僅差であっても、切断し易い  $(10-10)$  面4での切断が先に発生するものと推測される。

一方、 $ZrB_2$  単結晶基板1が厚くなると、薄い場合には切断し易かった  $(10-10)$  面4も応力に対する降伏点が向上し、容易に切断しにくくなり、切断面が  $(10-10)$  面4から屈曲して割れるようになると推測される。

なお、 $TiB_2$  単結晶基板の場合には、上記の  $(10-11)$  面7と、 $(0001)$  面2のなす角度は、 $50.9^\circ$  であり、 $ZrB_2$  単結晶基板1と同様に基板の厚さがおよそ  $0.1\text{ mm}$  以下で、 $(10-10)$  面4の劈開による切断面

が安定して得られる。

$ZrB_2$  単結晶基板の格子定数は、 $a = 3.169 \text{ \AA}$ である。窒化物系化合物半導体の $GaN$ と、 $AlN$ の格子定数は、それぞれ、 $3.189 \text{ \AA}$ 、 $3.112 \text{ \AA}$ であるので、 $ZrB_2$  単結晶基板とはほぼ格子整合がとれる。

また、 $Ga_x Al_{1-x} N$ のような窒化物系化合物半導体の混晶は、その格子定数が組成比によって変化し、所謂ベガード則によって $GaN$ と $AlN$ の格子定数の中間の値となるので、 $ZrB_2$  単結晶基板と良好に格子整合がとれる。

$ZrB_2$  単結晶基板は化学的に安定で、抵抗率は数 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ であり、窒化物系化合物半導体を用いたダイオードや、バイポーラトランジスタのような基板を電極として使用し、素子の表面側から基板に縦方向に電流を流す縦型構造素子の基板として最適である。また、 $ZrB_2$  単結晶基板1の熱伝導率は、ほぼ $Si$ と同じであり、 $GaAs$ やサファイア基板の約3倍の値である。従って、 $ZrB_2$  単結晶基板上に形成した窒化物系化合物半導体装置の放熱に適している。また、 $TiB_2$  単結晶基板の格子定数は、 $a = 3.030 \text{ \AA}$ であり、 $ZrB_2$  単結晶基板1よりは若干小さいが、 $GaN$ と $AlN$ とはほぼ格子整合がとれる。また、 $ZrB_2$  と $TiB_2$  の固溶体 ( $Zr_x Ti_{1-x} B_2$ ) も、窒化物系化合物半導体の基板として使用できる。

本発明において、厚さを $0.1 \text{ mm}$ 以下とした $(0001)$ 面 $XB_2$  単結晶基板1によれば、窒化物系化合物半導体の劈開面である $(10-10)$ 面と一致する $(10-10)$ 面4の劈開面が、安定して得られる。また、 $XB_2$  単結晶基板1の抵抗が小さく、熱伝導率も大きいので、窒化物系化合物半導体の基板として好適である。

次に、本発明の $ZrB_2$  単結晶基板の実施例について説明する。

図4は本発明の $ZrB_2$  基板の実施例を示す図である。図4(a)は、本発明の基板である $ZrB_2$  の円形単結晶基板の平面図であり、図4(b)は、その $B-B$ 断面図である。図4(a)で示される $ZrB_2$  の円形単結晶基板は、図1と同様に $(0001)$ 面2を主表面としている。劈開面となる $(10-10)$ 面4または $(11-20)$ 面の位置は、オリエンテーションフラット6により示される。図4(b)に示す断面は図1(b)と同様であるので、説明は省略する。

以下、図1に示す $ZrB_2$ 単結晶基板の製造方法について説明する。

市販の $ZrB_2$ 粉末を粉末成形し、 $1400^{\circ}C$ 程度で真空焼成して $ZrB_2$ 結晶の原料棒を作製する。高周波FZ法により、この原料棒を単結晶化する。高周波FZ法は、アルゴンガス雰囲気中で行い、原料棒の下部に種結晶を配置し、原料棒の下部から上方に沿って単結晶を育生する。このようにして得た $ZrB_2$ 単結晶の結晶方位をX線で確認し、 $(0001)$ 面の板を切り出す。 $ZrB_2$ 板の厚さは、切断時点では、 $0.4mm \sim 0.55mm$ 程度で、これを研削加工して $0.1mm \sim 0.3mm$ 程度の厚さにする。

次に、図1に示すように基板側面となる部位の結晶方位を測定して、外辺の側面を $(10-10)$ 面4または $(11-20)$ 面に正確に合わせ、外形形状を整える研削加工を行う。そして、上記基板をコロイダルシリカなどの砥粒を用いて研磨加工し、厚さを $0.06 \sim 0.1mm$ 程度にする。本発明の $ZrB_2$ 単結晶基板1は、 $0.1mm$ を越える厚さでは安定に劈開することは困難であるため、加工による厚さのばらつきを考慮すると、 $0.1mm$ 程度以下の厚さに加工することが好ましい。

次に、本発明の $ZrB_2$ 単結晶基板の劈開についての実施例を説明する。

図1に示すように、厚さが $0.06mm$ の $ZrB_2$ 単結晶基板1を、この結晶の $(10-10)$ 面4に沿って、表面2もしくは裏面3をダイヤモンドペンを用いてスクライブし、スクライブ線5が劈開の基線となるように応力をかけて切断する。

図5は、厚さ $0.06mm$ の $(0001)$ 面 $ZrB_2$ 単結晶基板を $(10-10)$ 面に平行に切断した切断部を基板の斜め上方から観察した拡大写真を示す図である。図において、写真中央部下部から斜め左方向の矢印で示した線が、 $(0001)$ 面2と $(10-0)$ 面と、 $(10-11)$ 面7との交線8に相当する。この交線8の下部の矢印で示した部位が、 $ZrB_2$ 単結晶基板1にスクライブした跡5である。上記交線8の右側の切断面は $(10-10)$ 面4であり、基板表面に該当する $(0001)$ 面2との交線8に対して良好な直線性を保っている。

この方法においては、破断しようとする破断面の始点から終点まで完全に基板裏面3にスクライブ加工しても良いが、基板裏面3または表面2の一部に2～3

mm程度の長さのスクライブ加工を施して、このスクライブ線に応力をかけると、スクライブしていない部分にも自発的に(10-10)面4に沿った切断が起きる。このように、ダイヤモンドペンなどを用いてスクライブし、応力をかけて割った場合には、基板表面の(0001)面2との交線8で良好な直線を保って切断できる。

図6は、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板の厚さを0.1mm以下として良好な切断面が得られたときの切断面のX線による背面ラウエ写真を示す図である。このX線によるラウエ斑点のパターンによれば、切断面は、(10-10)面4からなることを示しており、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1の本来の劈開面に相当する(10-11)面7のものではない。

さらに、本発明のZrB<sub>2</sub>単結晶基板の機械的な切断についての実施例を説明する。

上記の本発明のZrB<sub>2</sub>単結晶基板の劈開に対して、素子の分割に一般に使用されるダイヤモンドブレードを使ったダイサーで基板を切断した例を示す。

図1に示した形状の0.06mmのZrB<sub>2</sub>単結晶基板1の(0001)面2を、この結晶の(10-10)面4に沿ってダイサーを用いて切断した。図7は、厚さ0.06mmの(0001)面ZrB<sub>2</sub>単結晶基板を(10-10)面に沿ってダイサーにより切断した切断面の拡大写真を示す図である。図示するように、(10-10)面4には、磨りガラス状の細かい破面が観察され、スクライブによる切断面とは明確に識別することができる。

本発明のZrB<sub>2</sub>単結晶基板の破断について、基板の厚さを厚くした場合の比較例を説明する。

厚さが0.33mmのZrB<sub>2</sub>単結晶基板の(0001)面を、この結晶の(10-10)面に沿って、表面もしくは裏面に、基板の側面から2~3mmのスクライブ加工を行い、スクライブ線に沿って応力をかけて切断する。図8は、厚さ0.33mmの(0001)面ZrB<sub>2</sub>単結晶基板を(10-10)面に沿って破断した比較例の破断部を基板斜め上方から撮影した写真を示す図である。基板が0.33mmと厚いときには破断面は屈曲し、(10-10)面4に沿った直線性を保つ破断が起こらない。

図9は、厚さ0.33mmの(0001)面 $ZrB_2$ 単結晶基板裏面に、破断しようとする個所の始点から終点まで完全にスクライブ加工を行い破断した比較例の破断部を基板斜め上方から撮影した写真を示す図である。基板が厚いときでも、基板裏面に完全にスクライブ加工を行うと、半導体レーザーダイオードの共振器の形成には使用できないものの、半導体装置の種類によっては、素子分割には問題が無い程度の破断は可能である。

本発明の基板を用いた半導体レーザーダイオード(LD)に係る第2の実施の形態を示す。

図10は、本発明に係る第2の実施の形態によるLDの構造を示す斜視図であり、図11は図10の光路方向の断面を示す断面図である。本発明のLD10は、(0001)面を方位とする $ZrB_2$ 単結晶基板1上にLD構造11が形成されている。LD構造11の最上部にスライプ状の電極17と、 $ZrB_2$ 基板1の裏面に電極18が設けられている。 $ZrB_2$ 基板1の厚さは、0.1mm以下が好ましい。光路21に垂直な面である対向端面19(19A, 19B)と、20(20A, 20B)が劈開により形成される。

ここで、LD10のファブリペロー共振器は、窒化物系化合物半導体によるLD構造11の対向端面19A, 20Aが(10-10)面4からなり、そして、 $ZrB_2$ 単結晶基板1の対向端面19B, 20Bが同じ(10-10)面4を有している。

LD構造11は、窒化物系化合物半導体の多重層からなり、 $ZrB_2$ 単結晶基板1上に、低抵抗化されたn型( $n^+$ )Ga<sub>0.9</sub>N層12, n型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層13, Ga<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>N活性層14, p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層15, 低抵抗化されたp型( $p^+$ )Ga<sub>0.9</sub>N層16が、順次積層されて形成される。n<sup>+</sup>GaN層12と $ZrB_2$ 単結晶基板1との界面に空乏層が形成されないように、n<sup>+</sup>GaN層12へは、できるだけ高濃度のSiによる不純物添加を行うことが好ましい。さらに、動作層11の最上層のp<sup>+</sup>型Ga<sub>0.9</sub>N層16上に、p層へのオーミック電極17が設けられ、 $ZrB_2$ 基板1の裏面に、n層へのオーミック電極18が設けられている。

ここで、LD構造11となる窒化物系化合物半導体の多重層は、Al<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>

$I n_z N$  (ここで、 $x + y + z = 1$ ) を用いることができる。また、本例のLD構造11は、所謂ダブルヘテロ構造であるが、LD構造11は、例えば量子井戸構造あるいは多重量子井戸構造などを用いてよい。

上記構成の実施の形態2のLDの特徴を説明する。ファブリペロー共振器を形成する窒化物系化合物半導体の劈開面である(10-10)面は、厚さが0.1mm以下としたZrB<sub>2</sub>単結晶基板1の劈開面である(10-10)面と同じであることから、容易に劈開されると共に、平坦性の高い鏡面が得られる。従って、本発明のLD10のファブリペロー共振器の劈開面において、第1の従来例であるサファイア基板を用いた窒化物系化合物半導体によるLD40の劈開面に比べて、非常に平坦性の高い鏡面を有する劈開面19A、20Aが再現性よく得られる。これにより、LD10のファブリペロー共振器の損失が減少してQ値が向上し、LD10のレーザ発光の閾値電流を低下させることができる。また、第1の従来例によるサファイア基板41を用いた窒化物系化合物半導体によるLD40と比較すると、導電性のZrB<sub>2</sub>単結晶基板1の裏面にn層へのオーミック電極18を形成することができる。これにより、本発明のLD10は、III-V族化合物系半導体によるLDと同じ縦構造が実現できる。

本発明のLD10によれば、窒化物系化合物半導体による縦構造LDが実現できることから、第1の従来例のLD40のように、n層の電極48Bを素子上面に形成する必要がない。これにより、本発明のLD10によれば、第1の従来例のようにn<sup>+</sup>GaN層43を素子上面に露出させるための工程が不要となり、工程処理時間を短縮できるので、歩留まりが向上しコストが低下する。また、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1の熱伝導率は、サファイア基板41よりも大きいので、本発明のLD10の放熱が良好に行われる。これにより、本発明のLD10によれば、第1の従来例によるLD40と同じレーザ光出力が、より低い接合温度で得られるので、LD10の連続動作時間を長くでき、長寿命化を達成できるので、信頼性が著しく向上する。

本発明の基板を用いてLDを製造する第3の実施の形態を図12を参照して説明する。図12(a)に示すように、最初に(0001)面2を方位とするZrB<sub>2</sub>単結晶基板1に、有機金属化合物を用いたCVD法(MOCVD法)または



分子線エピタキシー法（MBE法）によって $n^+$ 型Ga<sub>0.9</sub>N層12， $n$ 型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層13，Ga<sub>0.9</sub>In<sub>0.1</sub>N活性層14， $p$ 型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層15， $p^+$ GaN層16を順次に結晶成長させ、窒化物系化合物半導体のLD動作層11を形成する。ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1は、図1で説明した角形の基板や図2に示すような円形の円盤形の基板を使用する。ZrB<sub>2</sub>と窒化物系化合物半導体は同じ六方晶であり、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板の（0001）面2に成長させた窒化物系化合物半導体は、（0001）軸方向、（10-10）および（11-20）方向において、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1の結晶方位と一致するエピタキシャル成長を行う。

次に、図12（b）で示すように、LD動作層11の最上層の $p^+$ GaN層16に、オーミック電極となる金属層をスパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱処理してオーミック電極17を形成する。LD動作層11のエピタキシャル成長の後に、SiO<sub>2</sub>のような絶縁物をCVD法により堆積して、窓開けした領域のみにオーミック電極17をストライプ状に形成してもよい。

図12（c）で示すように、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1が、おおよそ0.1mm以下である場合には、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1の裏面に、 $n$ 層へのオーミック電極18となる金属層を、スパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱処理してオーミック電極18を形成する。また、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板の厚さが、例えば0.3mmである場合には、ZrB<sub>2</sub>基板の厚さが0.1mm以下になるように研磨した工程の後で、オーミック電極18を形成すればよい。

このように加工したZrB<sub>2</sub>単結晶基板1及びLD動作層11を光路方向と垂直に、裏面からスクライブやポイントスクライブなどを行い、図示するようにAの破線で表わす個所で、劈開を用いて切断する。この切断面は、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1の（10-10）面4となるようにする。

図12（d）で示すように、ZrB<sub>2</sub>基板1の（11-20）面に沿って図のBの破線で表わす個所を、ダイヤモンドブレードによる切断機によって切断し多数個に分割する。図12（e）に示すように、窒化物系化合物半導体の対向端面19A，20Aは、窒化物系化合物半導体からなる素子構造の（10-10）面の劈開面であり、19B，20BはZrB<sub>2</sub>基板31の（10-10）面4であ

る。

このように、 $(0001)$ 面2を主表面とする $ZrB_2$ 単結晶基板1を $(10-10)$ 面4に平行に分割すると、LD動作層11の窒化物系化合物半導体の多重層の対向端面19A, 20Aは滑らかで平行度の高い面とすることができる。これにより、 $ZrB_2$ 単結晶基板1上に形成したLD10は、対向端面19A, 20A間により損失の少ないファブリペロー共振器を形成できるので、LD10の発振効率を向上させることができる。

本発明の基板を用いた半導体装置に係る第4の実施形態を示す。図13は本発明に係る第4の実施の形態による半導体装置の構成を示す断面図である。本発明の半導体装置30は、 $(0001)$ 面2を方位とする $ZrB_2$ 単結晶基板31上に素子構造32が形成されている。素子構造32は、Al, Ga, Inの少なくとも一つを含む窒化物系化合物半導体( $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ )からなるLED, フォトディテクタ, ヘテロ接合バイポーラトランジスタ(HBT), 電界効果トランジスタ(FET), これらの半導体装置による集積回路などの半導体素子である。

これらの半導体装置の $ZrB_2$ 単結晶基板31の厚さは、LED、フォトディテクタ、HBT、FETのように、図9に示す程度の厳密な破断線でなくとも素子分離に問題がない場合には、0.3mm程度の厚さであれば、多少の起伏はあるものの $(10-10)$ 面4に平行に素子分割することができる。また、例えばマイクロ波帯以上の動作周波数の電力用トランジスタのHBTやFETのような場合には、放熱を考慮して、 $ZrB_2$ 単結晶基板31の厚さは、0.1mm以下が好ましい。

図14は、本発明に係る第4の実施の形態によるHBTの構成を示す断面図である。図示するように、素子構造32の表面の電極33A, 33Bは、それぞれエミッタ電極、ベース電極である。 $ZrB_2$ 単結晶基板3の裏面の電極34はコレクタ電極である。本発明のHBTは、 $ZrB_2$ 単結晶基板31が導電性があるので、この裏面にコレクタ電極を形成できる。本発明のHBTによれば、第1の従来例のサファイア基板によるHBTにおいて実現できない縦構造のHBTが容易に実現できる。

図15は本発明に係る第4の実施の形態によるFETの構成を示す断面図である。図示するように、素子構造32の表面の電極33A、33B、33Cは、それぞれ、HBTのエミッタ電極、ベース電極、コレクタ電極に相当するソース電極、ゲート電極、ドレイン電極である。ここで、基板裏面へ電極34を形成し、接地電極とすることができる。ソース電極33Aまたはゲート電極33Bは、例えばバイアホールにより基板電極へ接続できる。このようにすることで、ソースまたはゲートの寄生インダクタンスを著しく減少することができる。本発明のFETによれば、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板を接地できるので、寄生インダクタンスを著しく減少させることができ、動作周波数を容易に高めることができる。また、基板からの放熱が良好に行われるので、出力電力と効率が向上する。

図16は、本発明に係る第4の実施の形態によるダイオードの構成を示す断面図である。図示するように、素子構造32の表面の電極33と、ZrB<sub>2</sub>基板31の裏面の電極34は、それぞれアノード、カソードである。アノードとカソードは逆にしてもよい。ここで、ダイオードは、LEDやフォトディテクタとしてのpinフォトダイオードやアバランシェフォトダイオードあるいはバラクタダイオードなどが好適である。

ここで、基板裏面の電極34は、アノードまたはカソードとなるので、第1の従来例のサファイア基板ではできない縦構造のダイオードが容易に実現できる。本発明のダイオードによれば、ZrB<sub>2</sub>を窒化物系化合物半導体装置の基板として用いるので、基板側に電極を形成する縦型構造のダイオードを容易に、低コストで製作することができる。

上記構成の実施の形態4にかかる半導体装置の特徴を説明する。第1の従来例によるサファイア基板を用いた窒化物系化合物半導体装置と比較すると、導電性のZrB<sub>2</sub>単結晶基板31の裏面にオーミック電極を形成することができる。これにより、本発明の半導体装置30は、III-V族化合物系半導体による縦構造のLEDやHBTが容易に実現できる。

本発明のLEDやHBTのような半導体装置30によれば、窒化物系化合物半導体による縦構造半導体装置が実現できることから、第1の従来例のLD40のように、LEDの基板に形成するアノードあるいはカソード電極やHBTのドレ

イン電極を素子上面に形成する必要がない。これにより、本発明のLEDやHBTのような縦構造の半導体装置30によれば、全ての電極を素子上面に露出させるための工程が不要となり、工程処理時間を短縮することができるので歩留まりが向上する。

また、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板31の熱伝導率は、サファイア基板41よりも大きいので、本発明の半導体装置30の放熱が良好に行われる。これにより、本発明の半導体装置30によれば、第1の従来例によるサファイア基板を用いた半導体装置と比べて、より低い温度で動作させられるので、HBTやFETの出力、効率、信頼性の著しい向上が達成できる。

本発明の基板を用いた半導体装置の製造方法である第5の実施の形態を示す。図17は、本発明に係る第5の実施の形態による半導体装置の製造方法を示す図である。図17(a)に示すように、最初に(0001)面2を方位とするZrB<sub>2</sub>単結晶基板31に、有機金属化合物を使ったCVD法(MOCVD法)あるいは分子線エピタキシー法(MBE法)によって、窒化物系化合物半導体(A<sub>1-x-y-z</sub>Ga<sub>x</sub>In<sub>y</sub>N、ここで、x+y+z=1)からなる半導体装置の素子構造32となるエピタキシャル層を形成する。ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1は、図1で説明した角形の基板や図2に示すような円形の円盤形の基板を使用する。次に、図17(b)で示すように、素子表面の電極形成などの所定の加工の後で、素子構造32に電極33となるオーミック電極となる金属層をスパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱処理してオーミック電極を形成する。図示しないが、素子構造32のエピタキシャル成長の後に、SiO<sub>2</sub>のような絶縁物をCVD法により堆積して、窓開けした領域のみに電極33を形成してもよい。

図17(c)で示すように、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1がおおよそ0.1mm以下である場合には、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1の裏面に、オーミック電極となる金属層を、スパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱処理してオーミック電極34を形成する。また、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板1の厚さが0.1mm以上の例えば0.3mmである場合には、ZrB<sub>2</sub>単結晶基板の厚さが0.1mm以下になるように研磨した工程の後でオーミック電極34を形成すればよい。このように加工したZrB<sub>2</sub>単結晶基板1及び素子構造32を、図のAの破線で表わす

個所で高速回転するダイヤモンドブレードを用いたダイサーで切断する。この切断面は、 $(10-10)$ 面4に直角な面である $(11-20)$ 面がよい。一枚の基板上に2以上の素子を形成した場合に分離を行う際に、分離する切断線の少なくとも一つを $(10-10)$ 面4に平行にする。正方形もしくは長方形の素子の場合には、外辺の2辺が $(10-10)$ 面4に平行になるようにし、残りの2辺が先の外辺に直交する $(11-20)$ 面に平行になるようにする。

図17(d)で示すように、 $ZrB_2$ 単結晶基板の $(10-10)$ 面4に沿って図のBの点線の個所を劈開し多数個に分割することにより、本発明の半導体装置30(図17(e))を製造することができる。図17(e)に示すように、35A、36Aは、窒化物系化合物半導体からなる素子構造の $(10-10)$ 面4であり、35B、36Bは、 $ZrB_2$ 基板31の $(10-10)$ 面4である。 $(10-10)$ 面4に平行に分離する際にはダイヤモンドペンなどを用いたスクライバにてスクライブし、応力をかけて割ることにより容易に分割でき、切りしろが不要となる。

本発明の基板を用いた半導体装置の製造方法である第5の実施の形態の別の実施例を示す。図18は第5の実施形態の別の実施例によるLEDの製造方法を示す。図18(a)に示すように、最初に $(0001)$ 面2を有する $ZrB_2$ 単結晶基板31に、有機金属化合物を使ったCVD法(MOCVD法)によって、窒化物系化合物半導体( $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ )からなるLEDの素子構造32となるエピタキシャル層を形成する。 $ZrB_2$ 単結晶基板1は、図1で説明した角形の基板や図4に示すような円形の円盤形の基板を使用する。 $ZrB_2$ 単結晶基板1の厚さは、0.3から0.35mm程度でよい。

次に図18(b)で示すように、所定の加工の後で、素子構造32にオーミック電極となる金属層を、金属マスクを介してスパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱処理してオーミック電極33を形成する。図示しないが、素子構造32のエピタキシャル成長の後に、 $SiO_2$ のような絶縁物をCVD法により堆積して、窓開けした領域のみに電極33を形成してもよい。

次に、図18(c)で示すように、 $ZrB_2$ 単結晶基板1の裏面に、オーミック電極となる金属層をスパッタ法あるいは電子ビーム蒸着法によって形成し、熱

処理してオーミック電極 3 4 を形成する。次に、LED 構造 3 2 の表面側から、高速回転するダイヤモンドブレードを用いたダイサーで、賽の目状に切断する。この切断領域が 3 5 である。このときの切り込み深さは、例えば 0.2 mm から 0.25 mm 程度でよい。この切断面は、(10-10) 面 4 及びこの面に直角な面である (11-20) 面がよい。一枚の基板上に 2 以上の素子を形成した場合に分離を行う際に、分離する切断線の少なくとも一つを (10-10) 面 4 に平行にする。

正方形もしくは長方形の素子の場合には、外辺の 2 辺が (10-10) 面 4 に平行になるようにし、残りの 2 辺が先の外辺に直交する (11-20) 面に平行になるようにする。切断後に、窒化物系化合物半導体の LED 構造 3 2 のメサエッチングを行なってもよい。

最後に、上記の切断領域に沿って劈開し多数個に分割する。図 18 (d) は、このようにして製造した LED の斜視図である。この際、LED においては直線性に優れた破断面が必ずしも必要でないので、基板厚さは、特に 0.1 mm 以下である必要はない。

本発明の LED の製造方法によれば、ZrB<sub>2</sub> 単結晶基板 1 を用いた窒化物系化合物半導体の縦構造の LED が容易に実現できる。また、この製造方法によれば、第 1 の従来例のサファイア基板では実現できない縦構造の LED がより少ない工程で実現できる。

本発明は、上記実施例に限定されることなく、特許請求の範囲に記載した発明の範囲内で種々の変形が可能であり、それらも本発明の範囲内に含まれることはいうまでもない。例えば、上記実施の形態で説明した LD の積層構造や製造方法については、例えば多重量子井戸構造等を構成しても、窒化物系化合物半導体の結晶方位は各層間で常に結晶方位を一致させたエピタキシャルな関係が保持されている限り、破断したときの結晶方位に依存する特徴は、窒化物半導体多重層の積層構造に関わらず適用し得ることは勿論である。

#### 産業上の利用可能性

以上の説明から理解されるように、本発明によれば、厚さが 0.1 mm 以下の

(0001)面XB<sub>2</sub>単結晶基板の(10-10)面に沿った、平坦な劈開面を容易に得ることができ、伝導性が高く、かつ熱伝導率が大いので、窒化物系化合物半導体装置に最適な基板を提供することができる。

また本発明によれば、(10-10)面に沿った2つの劈開面を有するXB<sub>2</sub>単結晶基板の主表面上に、LD構造をなす窒化物系化合物半導体の多重層を備えたLDを縦構造で実現できる。LDのファブリペロー共振器をなす二つの対抗端面が、XB<sub>2</sub>単結晶基板の(10-10)面に沿った劈開面に連なることによって、対向端面の面精度、平行度を高くすることができ、損失の少ないファブリペロー共振器を実現でき、レーザーの発振効率向上と長寿命化を達成できる。

また、本発明によれば、XB<sub>2</sub>単結晶基板上に、LDとなる窒化物系化合物半導体の多重層を形成した後、XB<sub>2</sub>単結晶基板および窒化物系化合物半導体の多重層を、XB<sub>2</sub>単結晶基板の(10-10)面に沿って劈開して多数個に分割する工程により、きわめて簡単な工程で、高性能な窒化物系化合物半導体のLDを製造することができる。

また、本発明によれば、XB<sub>2</sub>基板単結晶上に、窒化物系化合物半導体によるLED、受光素子、HBT、FETなどの半導体装置を形成でき、特にLEDやHBTにおいて縦構造の半導体装置を実現することができる。

さらに、本発明によれば、XB<sub>2</sub>単結晶基板上に、窒化物系化合物半導体によるLD、もしくは、LED、受光素子、HBT、FETなどの半導体装置を形成した後、XB<sub>2</sub>単結晶基板および窒化物系化合物半導体装置を、XB<sub>2</sub>単結晶基板の(10-10)面に沿って劈開して多数個に分割する工程により、きわめて簡単な工程で、高性能な窒化物系化合物半導体装置を製造することができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 二硼化物 $XB_2$ （ここで、 $X$ は、 $Zr$ または $Ti$ ）の単結晶基板であって、

面方位が $(0001)$ 面であり、かつ基板の厚さを $0.1\text{ mm}$ 以下としたことを特徴とする、二硼化物単結晶基板。

2. 前記基板は、 $(10\bar{1}0)$ 面、または、 $(11\bar{2}0)$ 面を示すオリエンテーションフラットを有していることを特徴とする、請求項1に記載の二硼化物単結晶基板。

3. 二硼化物 $XB_2$ （ここで、 $X$ は、 $Zr$ または $Ti$ ）単結晶の $(0001)$ 面を方位とする基板上に、半導体レーザダイオードが形成されたことを特徴とする、半導体レーザダイオード。

4. 前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板上に形成された半導体レーザダイオードの動作層が多重層からなり、前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板は、 $(10\bar{1}0)$ 面に沿った切断面を有し、上記多重層における半導体レーザ光の共振器をなす2つの対向端面が前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板の $(10\bar{1}0)$ 面に平行な劈開面によって形成されていることを特徴とする、請求項3に記載の半導体レーザダイオード。

5. 前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板の厚さは、 $0.1\text{ mm}$ 以下であることを特徴とする、請求項3または4に記載の半導体レーザダイオード。

6. 前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板は $ZrB_2$ 単結晶基板であり、前記半導体レーザダイオードの動作層となる多重層は、窒化物系化合物半導体 $(Al_xGa_yIn_zN)$ 、ここで、 $x+y+z=1$ ）からなることを特徴とする、請求項3～5の何れかに記載の半導体レーザダイオード。



7. 二硼化物単結晶 $XB_2$ （ここで、 $X$ は、 $Zr$ または $Ti$ ）の（0001）面を方位とする基板上に形成された半導体装置であって、

上記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板は、（10-10）面に沿ってダイヤモンドペンなどによりスクライブして切断された2つの切断面を有し、

上記半導体装置の素子の側面に該当する面のうち少なくとも一面が上記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板の（10-10）面に平行な面を有することを特徴とする、半導体装置。

8. 前記半導体装置は半導体レーザダイオードであることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

9. 前記半導体装置は発光ダイオードであることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

10. 前記半導体装置はフォトディテクタであることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

11. 前記半導体装置はヘテロ接合バイポーラトランジスタであることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

12. 前記半導体装置は電界効果トランジスタであることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

13. 前記半導体装置は集積回路であることを特徴とする、請求項7に記載の半導体装置。

14. 前記二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板の厚さが、0.1mm以下であることを特徴とする、請求項7～13の何れかに記載の半導体装置。

15. 前記二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板は、 $ZrB_2$ 単結晶基板であり、前記半導体装置は、窒化物系化合物半導体( $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ )からなることを特徴とする、請求項7～14の何れかに記載の半導体装置。

16. 二硼化物単結晶 $XB_2$ （ここで、 $X$ は、 $Zr$ または $Ti$ ）の(0001)面を方位とする基板上に半導体レーザダイオードの動作層が形成される工程と、

上記二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板及び半導体レーザダイオードの動作層が上記二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板の(10-10)面に沿ってスクライブし切断することで多数個に分割される工程と、

を含むことを特徴とする、半導体レーザダイオードの製造方法。

17. 前記二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板及び半導体レーザダイオードの動作層が、前記二硼化物 $XB_2$ 単結晶基板の(10-10)面に沿ってスクライブして切断することで多数個に分割される工程の前に、前記二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板が、少なくとも0.1mm以下の厚さにされる工程を含むことを特徴とする、請求項16に記載の半導体レーザダイオードの製造方法。

18. 前記二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板の厚さが、0.1mm以下とされることを特徴とする、請求項16に記載の半導体レーザダイオードの製造方法。

19. 前記二硼化物単結晶 $XB_2$ 基板は、 $ZrB_2$ 単結晶基板であり、前記半導体レーザダイオードの動作層となる多重層は、窒化物系化合物半導体( $Al_xGa_yIn_zN$ 、ここで、 $x+y+z=1$ )からなることを特徴とする、請求項16～18の何れかに記載の半導体レーザダイオードの製造方法。

20. 二硼化物単結晶 $XB_2$ （ここで、 $X$ は、 $Zr$ または $Ti$ ）の(00

01) 面を方位とする基板上に半導体素子が形成される工程と、

上記二硼化物単結晶 $\text{XB}_2$ 基板上の半導体素子を分離する際に、上記二硼化物単結晶 $\text{XB}_2$ 基板の(10-10)面に平行に素子が切断される工程と、  
を含むことを特徴とする、半導体装置の製造方法。

21. 前記素子の切断される工程が、劈開によることを特徴とする、請求項20に記載の半導体装置の製造方法。

22. 前記二硼化物単結晶 $\text{XB}_2$ 基板上の半導体素子を分離する際に、前記 $\text{XB}_2$ 単結晶基板の(10-10)面に平行に素子が切断される工程の前に、前記 $\text{XB}_2$ 単結晶基板が、少なくとも0.1mm以下の厚さにされる工程を含むことを特徴とする、請求項20または21に記載の半導体装置の製造方法。

23. 前記二硼化物単結晶 $\text{XB}_2$ 基板が、0.1mm以下の厚さとされることを特徴とする、請求項20又は21に記載の半導体装置製造方法。

24. 前記二硼化物単結晶 $\text{XB}_2$ 基板は、 $\text{ZrB}_2$ 単結晶基板であり、前記半導体素子は、窒化物系化合物半導体( $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 、ここで、 $x+y+z=1$ )からなることを特徴とする、請求項20～23の何れかに記載の半導体装置の製造方法。

図 1

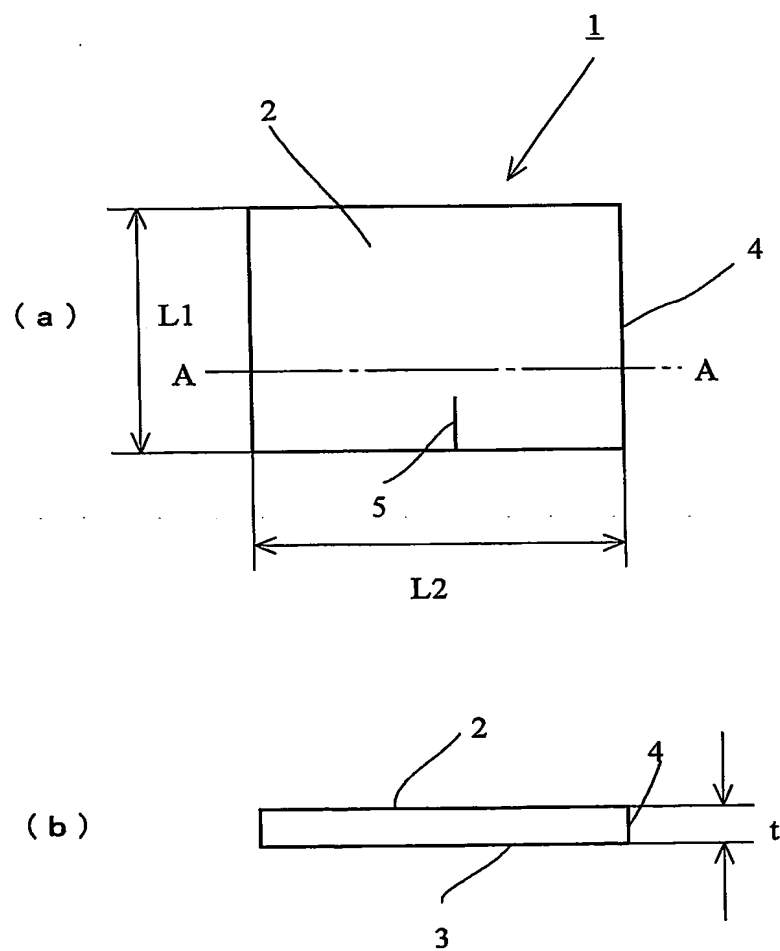


図 2

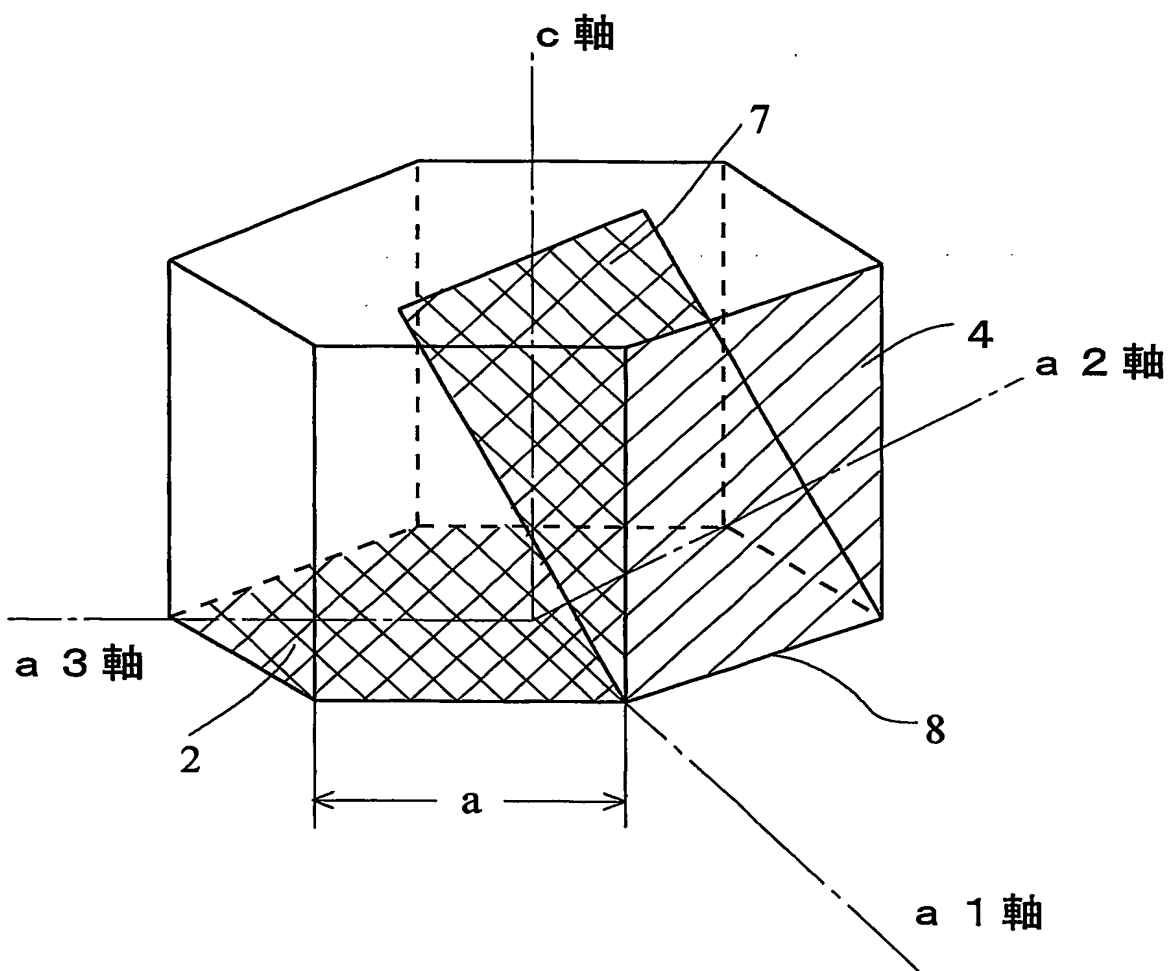


図 3

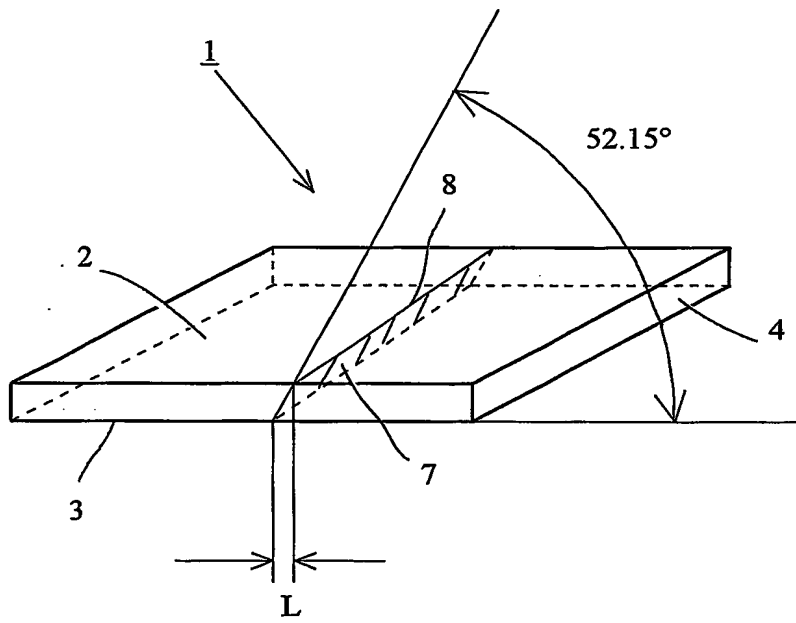


図 4

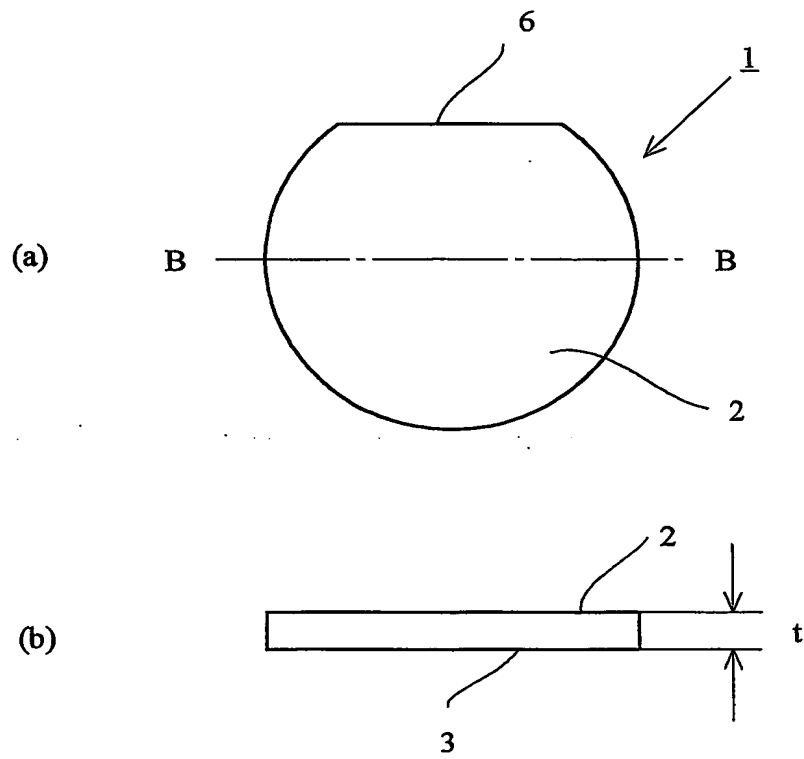


図 5

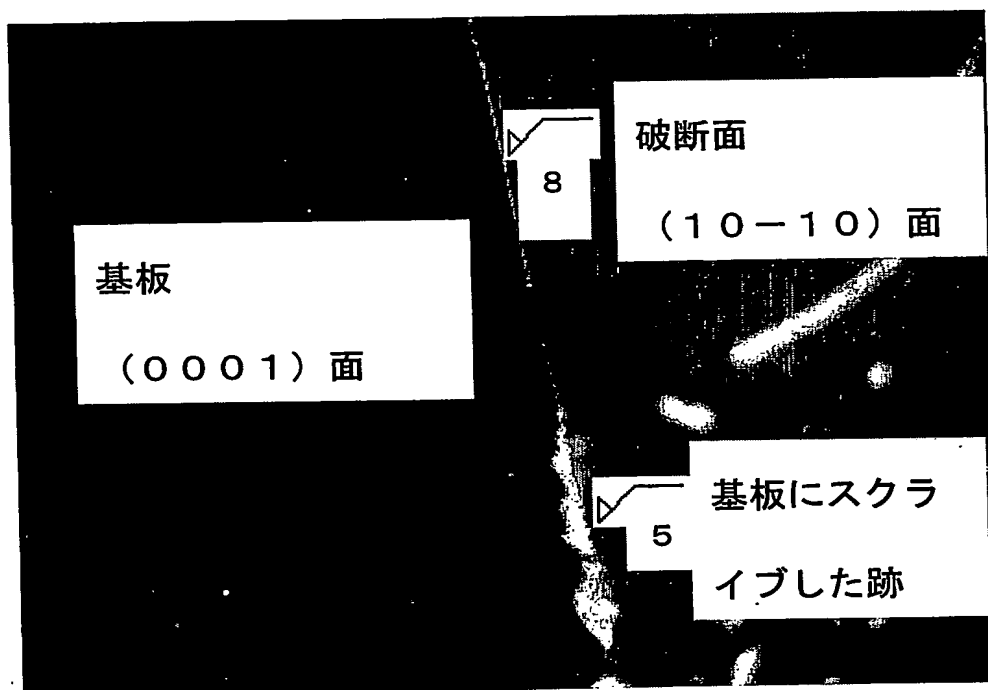




図 6

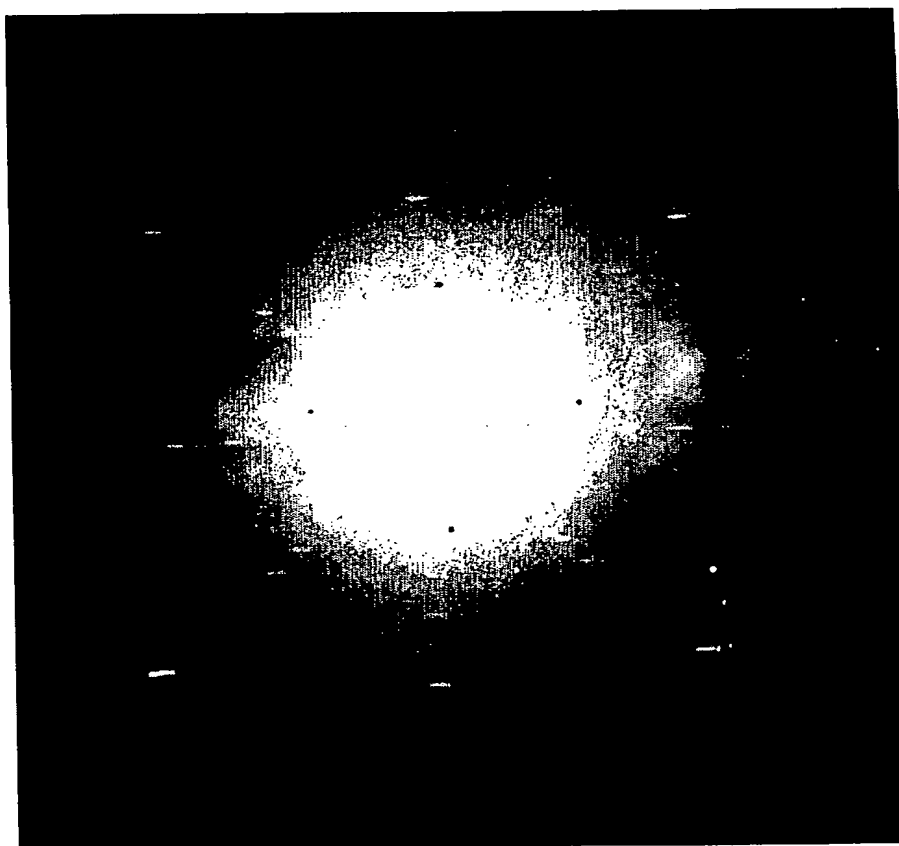


図 7

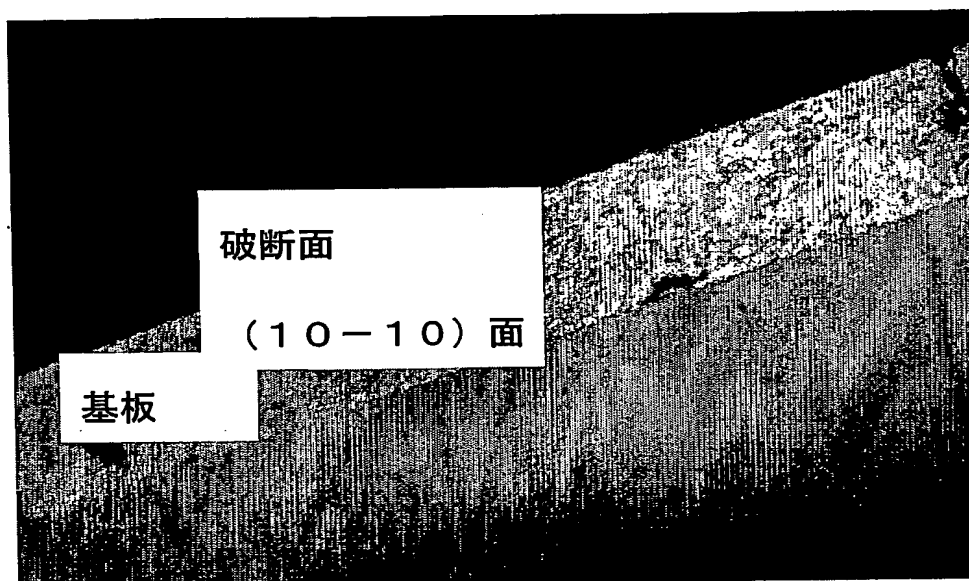


図 8

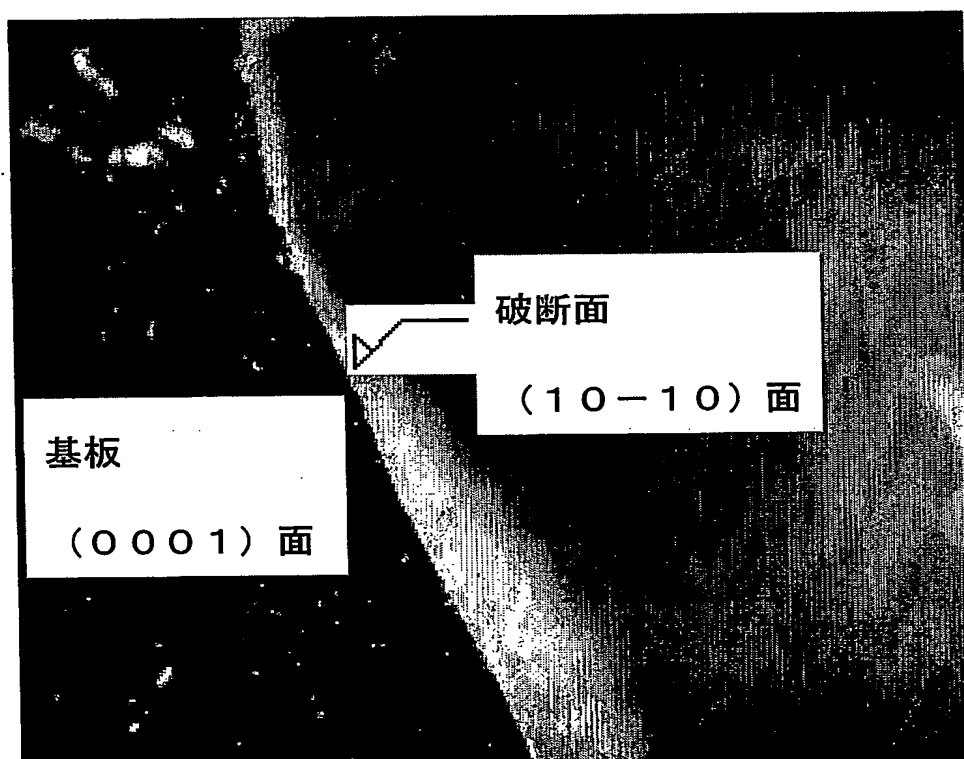


図 9

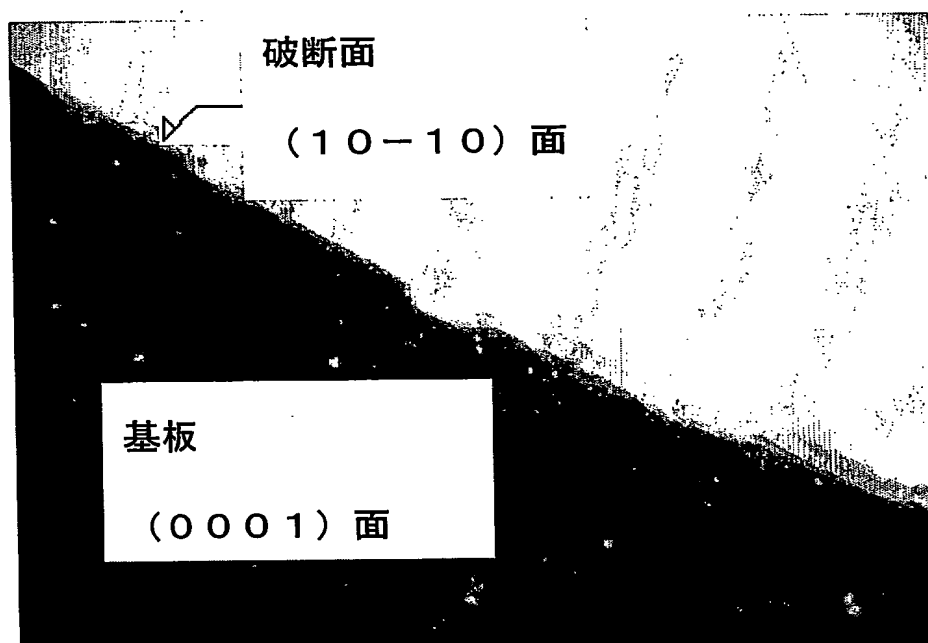


図 1 0

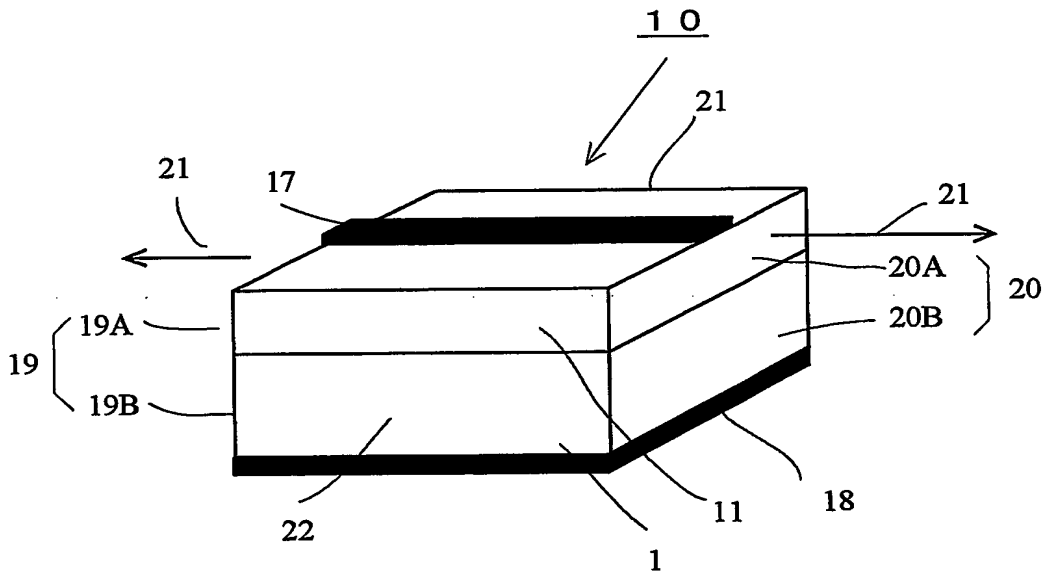


図 1 1

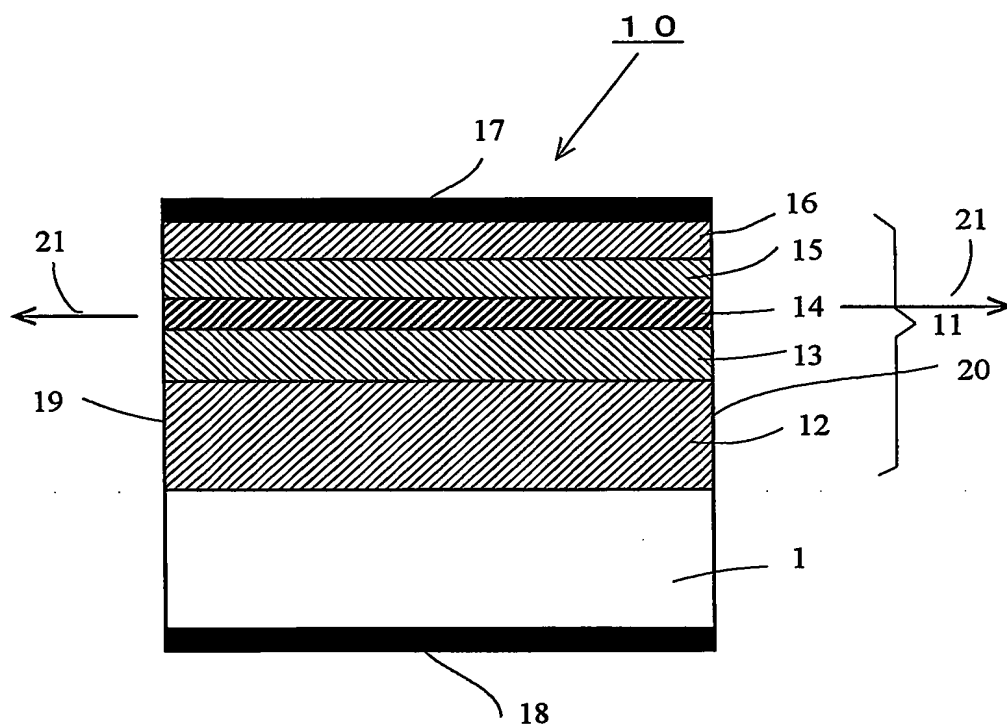


図 1 2

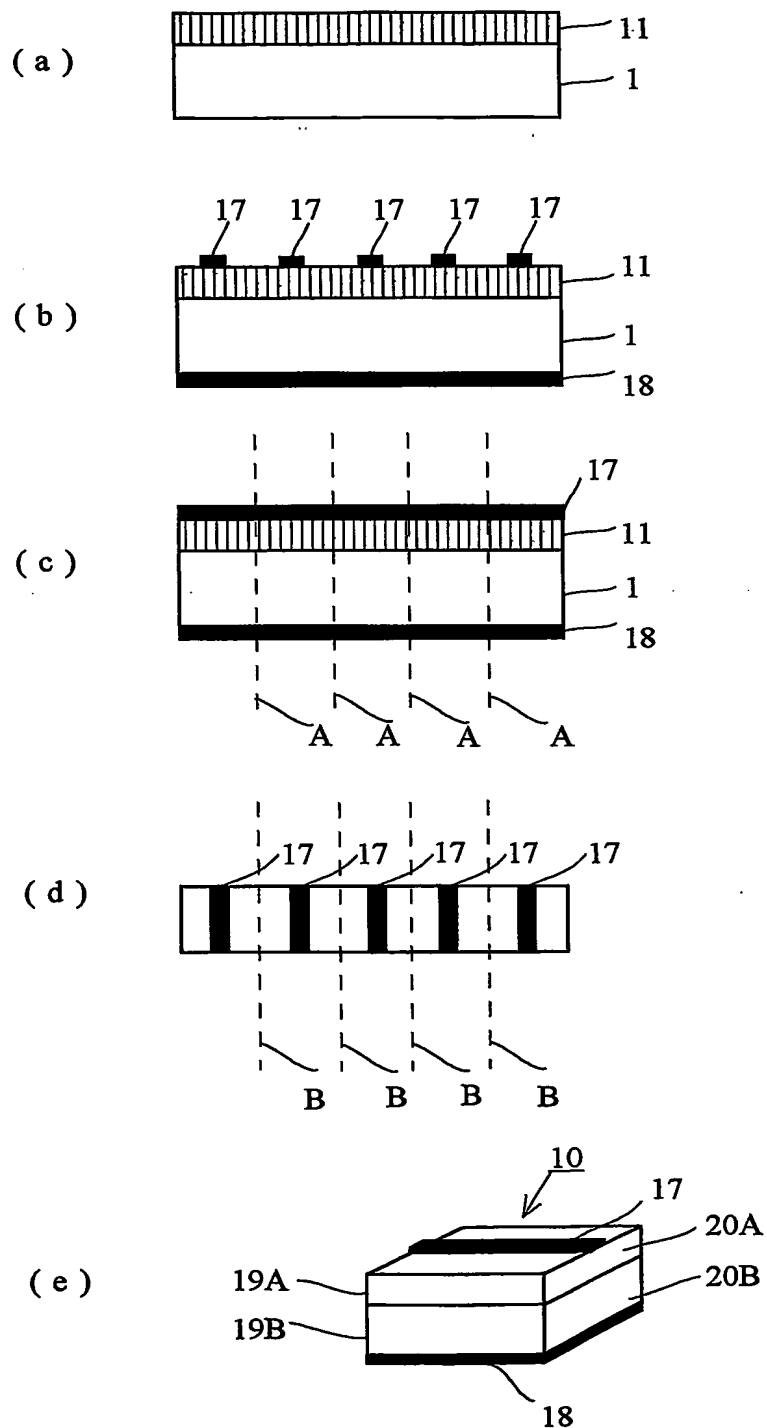


図 1 3

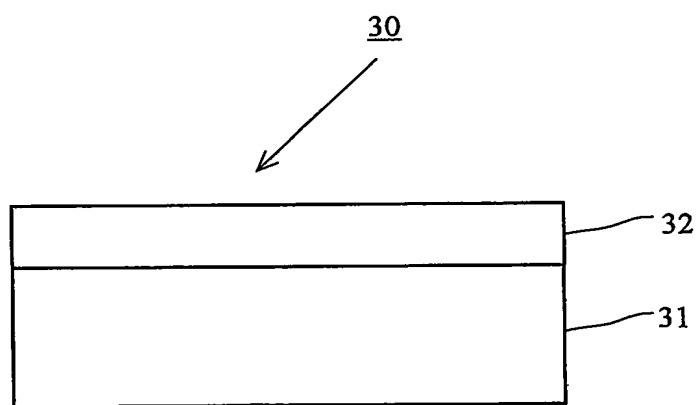




図 1 4

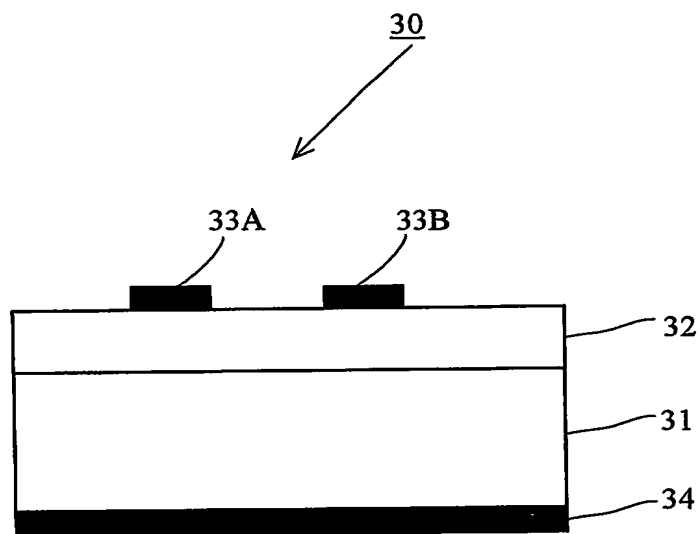


図 1 5

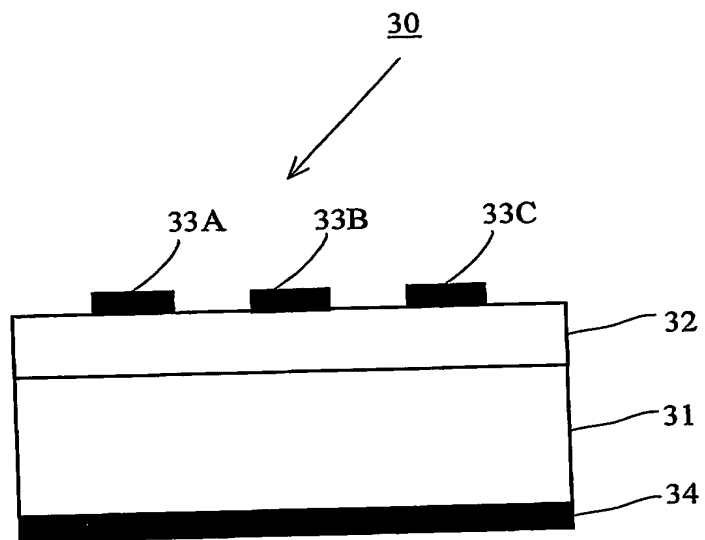


図 1 6

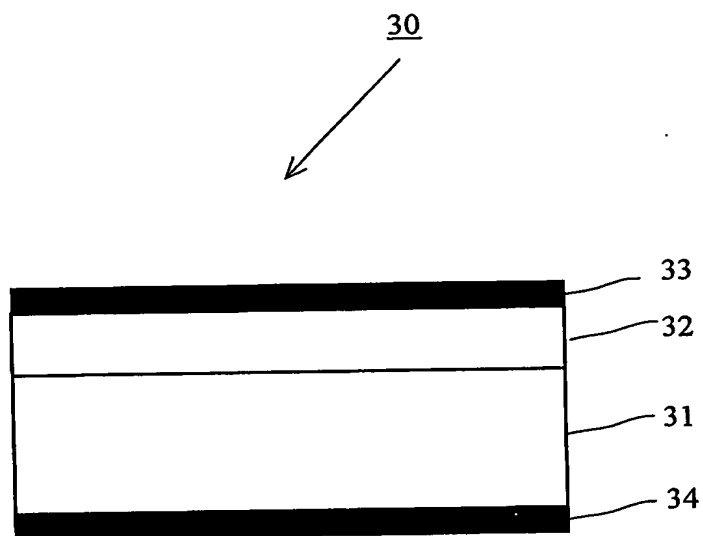


図 17

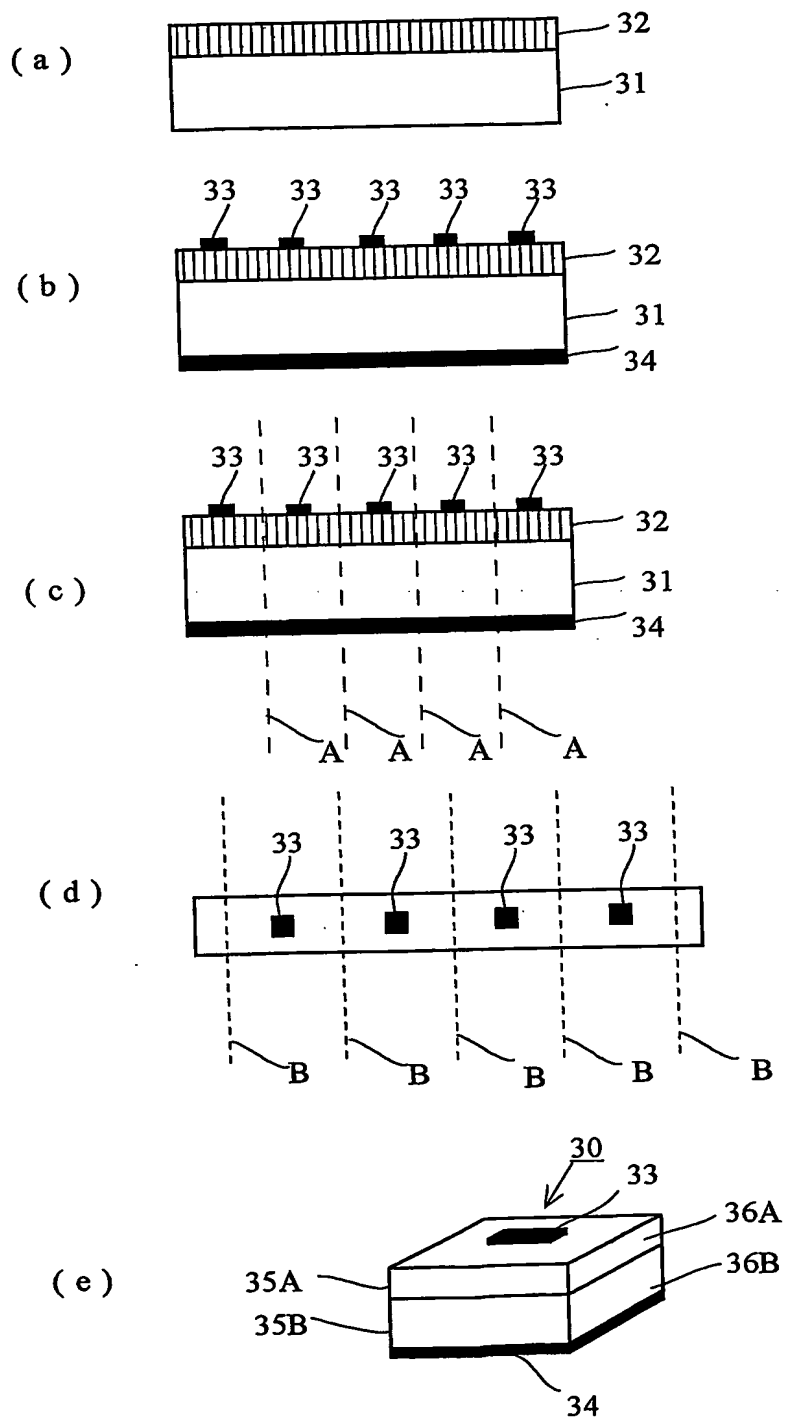


図 18

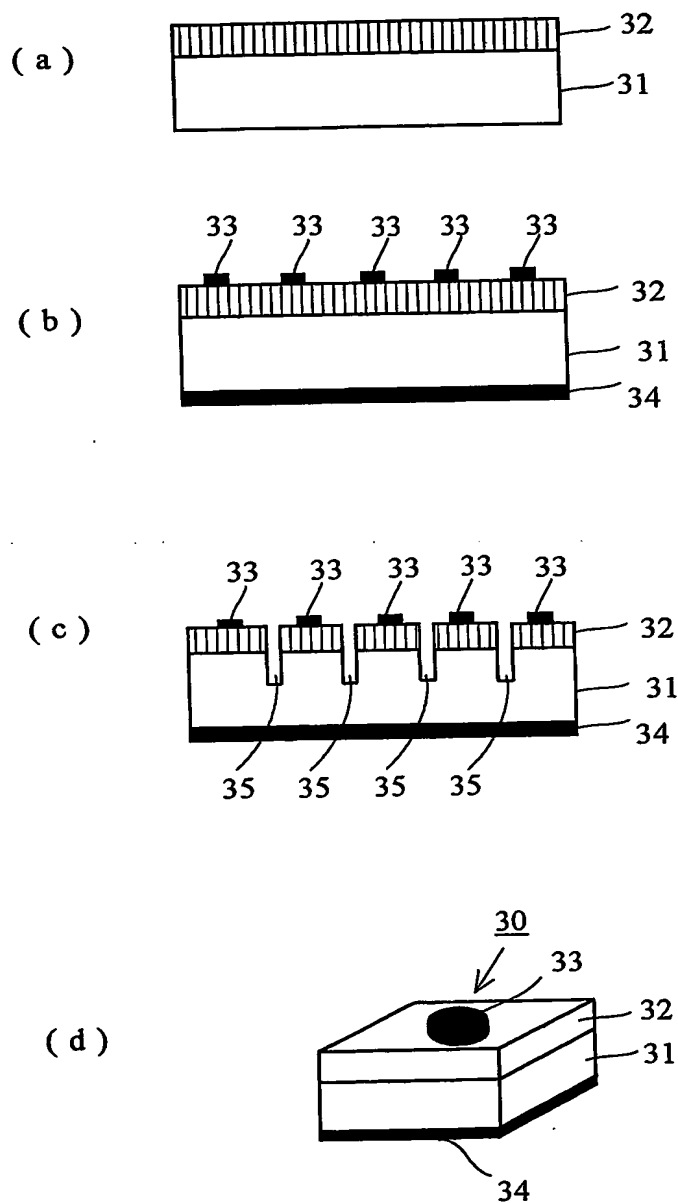
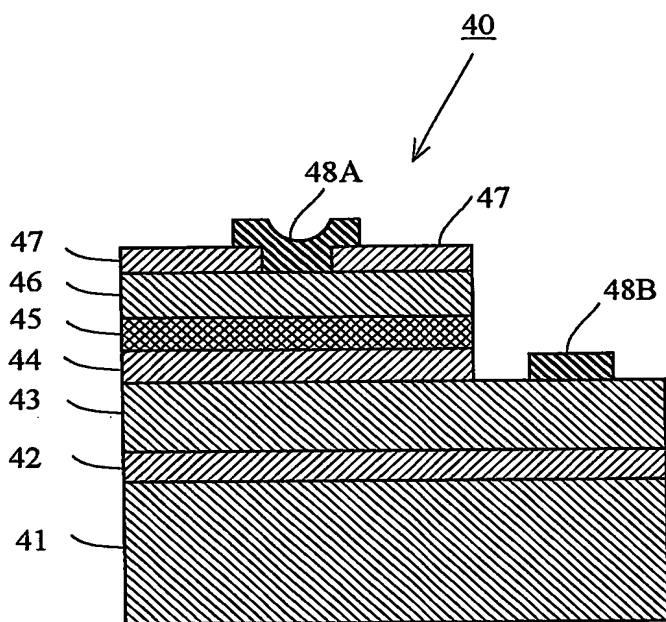


図 19



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/10575

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl.<sup>7</sup> C30B29/10, H01L29/12, H01S5/323

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl.<sup>7</sup> C30B1/00-35/00, H01L29/12, H01S5/323

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
CAS ONLINE, WPI, JSTPlus (JOIS)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	EP 1176231 A2 (NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE et al.), 30 January, 2002 (30.01.02), Claims 1 to 10; Par. Nos. [0029], [0033], [0038] to [0043], [0053]; Fig. 7 & JP 2002-43223 A & US 2002/0038892 A1	3-4, 6-13, 15 1-2, 5, 14 16-24
X Y A	Shigeki OTANI et al., "Chisso Gallium to Koshi Seigo Suru Niho-ka Zirconium Kiban", Kogyo Zairyo, 01 June, 2002 (01.06.02), Vol.50, No.6, pages 97 to 100, full text	3, 6 1-2, 5 4, 7-24
Y	JP 2001-253800 A (Namiki Precision Jewel Co., Ltd.), 18 September, 2001 (18.09.01), Claims 1 to 4 (Family: none)	1-2, 5, 14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
17 October, 2003 (17.10.03)

Date of mailing of the international search report  
28 October, 2003 (28.10.03)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/10575

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X P, A	JP 2003-163375 A (Sanyo Electric Co., Ltd.), 06 June, 2003 (06.06.03), Claims 1 to 7 (Family: none)	3 1-2, 4-24
A	J. SUDA et al., Heteroepitaxial growth of group- III nitrides on lattice-matched metal boride $ZrB_2$ (0001) by molecular beam epitaxy., Journal of Crystal Growth, April 2002, Vols.237 to 239, No.2, pages 1114 to 1117	1-24



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. <sup>7</sup> C30B29/10, H01L29/12, H01S5/323

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. <sup>7</sup> C30B1/00-35/00, H01L29/12, H01S5/323

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

CAS ONLINE, WPI, JSTPlus (JOIS)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y A	EP 1176231 A2 (NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE 外1名) 2002.01.30 請求項1-10, [0029], [0033], [0038]-[0043], [0053], Fig.7 & JP 2002-43223 A & US 2002/0038892 A1	3-4, 6-13, 15 1-2, 5, 14 16-24
X Y A	大谷 茂樹 外1名, 窒化ガリウムと格子整合する二ホウ化ジルコニウム基板, 工業材料, 2002.06.01, Vol. 50, No. 6, pp. 97-100 全文	3, 6 1-2, 5 4, 7-24

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17. 10. 03

国際調査報告の発送日

28.10.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

横山 敏志

4G

2927

電話番号 03-3581-1101 内線 3416

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2001-253800 A (並木精密宝石株式会社) 2001. 09. 18 請求項1-4 (ファミリーなし)	1-2, 5, 14
P X P A	JP 2003-163375 A (三洋電機株式会社) 2003. 06. 06 請求項1-7 (ファミリーなし)	3 1-2, 4-24
A	J. SUDA et al., Heteroepitaxial growth of group-III nitrides on lattice-matched metal boride ZrB <sub>2</sub> (0001) by molecular beam epitaxy. Journal of Crystal Growth, April 2002, Vols. 237-239, No. 2, pp. 1114-1117	1-24

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**